

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

**Návrh a realizace nového způsobu upínání
nástrojů na EMCO T120**

Design and Implementation of a New Tool
Clamping on the EMCO T120

Student:

Lukáš Sláma

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jiří Kratochvíl, Ph.D.

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

Zadání bakalářské práce

Student: **Lukáš Sláma**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: **Návrh a realizace nového způsobu upínání nástrojů na EMCO T120**
Design and Implementation of a New Tool Clamping on the EMCO T120
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod.
2. Rešerše upínání nástrojů při soustružení.
3. Stávající stav upínání, problémy.
4. Návrh nového řešení.
5. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:


BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 1. díl*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007, s. 126. ISBN 978-80-248-1641-8.
BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 2. díl*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2008, s. 150. ISBN 978-80-248-1822-1.
BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.
ERDL, BERT P. *High-speed machining*. Dearborn, Michigan : Society of Manufacturing Engineering, 2003. ISBN 0-87263-649-6.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jiří Kratochvíl, Ph.D.**

Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018


doc. Ing. et Ing. Mgr. Jana Petřů, Ph.D.
vedoucí katedry

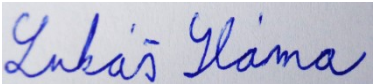



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

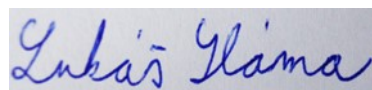
V Ostravě dne 21.května 2018.


.....

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- беру на ве́домі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- беру на ве́домі, že - podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů - že tato diplomová práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 21. května 2018.



Podpis autora práce

Jméno a příjmení autora práce:

Lukáš Sláma

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Doloplazy 346, Doloplazy, 783 56

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

SLÁMA, L. *Návrh a realizace nového způsobu upínání nástrojů na EMCO T120: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, 2018, 50 s. Vedoucí práce: Kratochvíl, J.

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem nového způsobu upínání nástrojů na CNC soustruhu EMCO T120. V teoretické části je provedena rešerše zabývající se upínáním nástrojů při soustružení. V praktické části je popsán soustruh, pro který je nový způsob upínání navrhován a problémy stávajícího způsobu upínání nástrojů. Na základě rozměrů upínací drážky a používaných nástrojů jsou vybrány dva způsoby, jakými lze nástroj v těchto podmínkách upínat. Z těchto způsobů je vybrán druhý, který má dvě varianty. Upínací systém navržený na základě první varianty se po praktickém vyzkoušení ukázal jako nefunkční. Proto je navržen a zhotoven upínací systém pro druhou variantu. Takto navržený upínací systém je prakticky vyzkoušen. Na základě kladného výsledku zkoušky je tento upínací systém označen za funkční a spolehlivý pro charakter používání soustruhu.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

SLÁMA, L. *Design and Implementation of a New Tool Clamping on the EMCO T120: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining, Assembly and Engineering Metrology, 2018, 50 p. Thesis head: Kratochvíl, J.

This bachelor thesis is focusing on the design of a new tool clamping on the CNC lathe EMCO T120. The theoretical part is mainly covering a research of the tools clamping during turning. The practical part describes the lathe for which the new clamping method is proposed and the problems of the existing tool clamping process. Based on the proportions of the clamping groove and the tools that were used, there were selected two ways in which the tool can be clamped under given conditions. From these two options, the second one was chosen, however, it has two variants. The clamping system designed based on the first variant was after practical testing proven to be un-functional. Therefore, the clamping system was designed and manufactured for the second variant. The proposed clamping system was tested in the field. Based on the positive test result, this clamping system can be taken as functional and reliable for the usage of the lathe.

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Jiřímu Kratochvílovi, Ph.D. za ochotu a veškeré rady a připomínky k řešení této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat zaměstnancům dílen Vysoké školy báňské Technické univerzity Ostrava za výrobu navržených upínacích klínů.

Obsah

Poděkování	6
Seznam použitých značek a symbolů	9
Úvod	10
1 Rešerše upínání nástrojů při soustružení	11
1.1 Možnosti upnutí nástroje k obráběcímu stroji	11
1.2 Způsoby upínání nástrojů	12
1.2.1 Upínání upínacími šrouby	13
1.2.2 Upínání dvojicí klínů	14
1.2.3 Upínání pomocí upínek	15
1.2.4 Upínání Coromant Capto	15
1.2.5 Upínání Kennametal KM Quick Change	17
1.3 Upínání nástrojů v závislosti na konstrukci obráběcího stroje	19
1.3.1 Upnutí do otočné nožové hlavy	19
1.3.2 Upnutí do revolverové hlavy	19
1.3.3 Upnutí nástroje na suport	22
2 Upínání nástrojů na soustruhu EMCO T120	23
2.1 Popis soustruhu EMCO T120	23
2.2 Popis stávajícího upínání nástrojů	23
2.2.1 Problémy stávajícího upínacího systému	25
3 Volba a předběžný návrh vhodného způsobu upínání	27
3.1 Popis výchozí situace	27
3.2 Možné způsoby upnutí	28
3.2.1 Upravené upínání ocelovou deskou se šrouby s tlačnou hlavou	28
3.2.2 Upínání dvojicí upínacích klínů	28
3.3 Zvolený způsob upínání	31
4 Návrh upínání dvojicí klínů pro soustruh EMCO T120	32

4.1	Základní konstrukční parametry	32
4.1.1	Celkové rozměry kompletního upínacího systému.....	32
4.1.2	Sklon klínové plochy	32
4.1.3	Materiál.....	33
4.2	Odtlačování velkého klínu	34
4.2.1	3D tisk prototypů	35
4.2.2	Vyzkoušení prototypů.....	36
4.2.3	Náprava zjištěných nedostatků	36
4.2.4	Výroba upínacích klínů.....	37
4.2.5	Vyzkoušení upínacího systému s odtlačováním velkého klínu.....	40
4.3	Vtlačování malého klínu pod velký	42
5	Ověření funkčnosti zvoleného upínacího systému	44
	Závěr.....	46
	Seznam použité literatury	47
	Seznam příloh.....	50

Seznam použitých značek a symbolů

Značka	Popis	Jednotka
a_p	hloubka třísky	[mm]
CNC	číslicové řízení počítačem	[-]
f_n	Posuv na otáčku	[mm]
f_z	posuv na zub	[mm]
n	otáčky	[min ⁻¹]
NC	číslicové ovládání strojů	[-]
PLA	polylactid acid	[-]
R_e	mez kluzu	[MPa]
R_m	mez pevnosti v tahu	[MPa]
v_c	řezná rychlost	[m·min ⁻¹]
3D	trojrozměrný	[-]
α	úhel sklonu klínové plochy	[°]

Úvod

Pro praktické ověření dovedností v předmětech zabývajících se NC programováním obráběcích strojů se využívá malého školního CNC soustruhu EMCO T120. Tento soustruh se k daným účelům využívá už několik let. Pro výukové účely se na něm zpravidla obrábí silonové polotovary. Během obrábění začalo postupně docházet k opotřebení upínacího systému sloužícího k upínání nástrojů do nástrojové hlavy. Opotřebení se začalo projevovat zvýšenou náročností na obsluhu při upínání nástrojů. Výměna nástrojů na tomto soustruhu se sice neprovádí tak často, ale pokud by byl tento již opotřeбенý upínací systém využíván dále, mohlo by vlivem stupňujícího se opotřebení dojít k selhání tohoto upínacího systému a uvolnění nástroje. Z těchto důvodů je nutné stávající upínací systém nahradit novým.

Cílem této práce je zvolit vhodný způsob upínání nástrojů do revolverové hlavy soustruhu EMCO T120 a na základě zvoleného způsobu navrhnout kompletní funkční upínací systém. Dále provést praktické ověření funkčnosti navrženého systému při obrábění nástrojem, který je pomocí tohoto systému upnutý.

1 Rešerše upínání nástrojů při soustružení

Při oddělování třísky působí nástroj na obrobek jednotlivými složkami řezné síly. Aby bylo možné třísku odebrat, musí být nástroj zajištěn, tak aby byly tyto síly zachyceny a nedocházelo tak k pohybu nástroje vůči obráběcímu stroji. K tomuto zajištění je třeba vytvořit dostatečnou upínací sílu vhodným způsobem upnutí. Nástroje pro soustružení se zpravidla zajišťují mechanickým způsobem.¹⁷

Možnosti upnutí nástroje k obráběcímu stroji:

- přímo,
- nepřímo.

Způsoby upínání:

- upínání upínacími šrouby,
- upínání dvojicí klínů,
- upínání upínkami,
- upínání Coromant Capto,
- upínání Kennametal KM Quick Change.

Způsoby upínání v závislosti na konstrukci obráběcího stroje:

- upínání do otočné nožové hlavy,
- upínání do revolverové hlavy,
- upínání na suport.

1.1 Možnosti upnutí nástroje k obráběcímu stroji

Přímé upnutí

U přímého upnutí se nástroj upíná přímo do nástrojových hlav nebo na suport obráběcího stroje.^{9, 11}

Nepřímé upnutí

Nástroj je nejprve upnut do speciálního nástrojového držáku nebo upínací jednotky, Nástrojový držák nebo upínací jednotka s již upnutým nástrojem jsou následně upnuty do nástrojové hlavy obráběcího stroje.^{9, 11}

1.2 Způsoby upínání nástrojů

K dosažení kvalitního a bezpečného upnutí nástroje při obrábění musí použitý způsob upnutí nástroje splňovat tyto náležitosti:

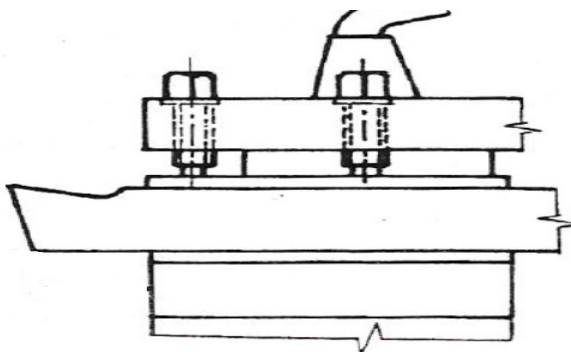
- dostatečná upínací síla,
- přesnost upnutí,
- tuhost upnutí,
- bezpečnost upnutí,
- jednoduchá obsluha,
- schopnost tlumení vibrací,
- jednoduchost upínacího,
- nízké výrobní náklady,
- vysoká životnost.^{8, 11}

Použitý způsob upínání také ovlivňuje tyto parametry:

- tvar obrobku,
- přesnost obráběného povrchu,
- jakost obráběného povrchu,
- délku vedlejšího výrobního času spojenou s výměnou nástroje.⁸

1.2.1 Upínání upínacími šrouby

Jedná se o nejznámější a nejspíše i o nejstarší způsob upnutí. Upínání pomocí upínacích šroubů je poměrně jednoduché a spolehlivé. Nevýhodou tohoto způsobu je nutnost prostoru pro samotné šrouby a pro jejich utahování či povolování. Tento upínací způsob se používá v otočných nožových hlavách, v nástrojových držácích a revolverových hlavách malých soustruhů. Nástroj upnutý tímto způsobem v otočné nožové hlavě je na obrázku 1.1.



Obrázek 1.1 - Upínání upínacími šrouby v otočné nožové hlavě ¹⁴

Pro upnutí v otočných nožových hlavách se nástroj vkládá do upínací drážky v nožové hlavě. Většinou se jeden nástroj upíná dotahováním minimálně dvou a více upínacích šroubů se čtyřhrannou hlavou zašroubovaných v horní části nožové hlavy. Zašroubováváním těchto šroubů začnou tlačit plochy na koncích dřívků na upínací část nástroje. Takto je nástroj zároveň tlačěn na spodní stěnu upínací drážky a díky tomu dojde k vyvinutí upínací síly a zajištění upínaného nástroje. ⁸

Pro upínání nástrojů do nástrojových držáků, je princip upínání shodný s upínáním do otočných nožových hlav, pouze jsou zde použity upínací šrouby s vnitřním šestihranem.

Obdobou tohoto způsobu upínání je i upínání pomocí ocelové desky dírami se závity a šrouby s tlačnou, kde je upínací síla vyvozena vyšroubováváním šroubů z ocelové přitlačné desky. Zde jsou z důvodu umožnění přístupnosti klíče využity šrouby s šestihrannou tlačnou hlavou. Tento způsob upínání je využit k upínání nástrojů do revolverové hlavy soustruhu EMCO T120 a bude podrobněji popsán v praktické části práce.

1.2.2 Upínání dvojicí klínů

Tento způsob spočívá v umístění dvojice klínů nad nebo pod upínaný nástroj vložený v upínací drážce. Princip je založen na nasouvání jednoho klínu na druhý, tím dochází ke zvětšování výšky sestavy klínů. Díky tomu jsou klíny rozpírány mezi upínací částí nástroje a stěnou upínací drážky. Tímto dochází k přitlačení spodní plochy upínací části nástroje na stěnu upínací drážky. Dostatečným rozepřením dvojice klínů mezi upínací částí nástroje a stěnou upínací drážky je vyvinuta potřebná upínací síla a nástroj je zajištěn.

Způsob nasouvání klínů je řešen zpravidla pomocí dvou šroubů, kterými je vtahován horní klín do nožové hlavy. Jedná se zpravidla o šrouby s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem, které se šroubují do děr se závity přímo v nožové hlavě. Hlavní výhodou tohoto způsobu je malý počet potřebných dílů a jednoduchá obsluha. Nevýhodou jsou nároky na přesnost obrobení klínových ploch.

Nároky na výrobu spočívají v přesném dodržení shodných velikostí úhlů sklonu klínových ploch u obou klínů. Je tomu tak z důvodu, aby byla zaručena vzájemná rovnoběžnost dosedacích základů těchto klínů. Tato rovnoběžnost je nutná z důvodu zamezení nedokonalého dosednutí klínů soustružnickému noži a horní stěně prostoru pro nůž.

Tento způsob se využívá zpravidla k upínání nástrojů do revolverových hlav a je použit v revolverové hlavě soustružnického obráběcího centra DMG MORI NLX 2500/700.

1.2.3 Upínání pomocí upínek

V oblasti strojírenské výroby se jedná o méně častý způsob upínání. Pro upnutí tímto způsobem se upínaný nástroj položí ve vhodné poloze přímo na suport. Na středový šroub suportu se navlékne upínka. Na protějším konci od nástroje se upínka vhodně vypořádá, nebo pokud je vybavena stavěcím šroubem, zajistí se výška druhého konce upínky pomocí tohoto šroubu. Po ustavení upínky se na středový šroub našroubuje matice. Jejím dotahováním je upínaný nástroj přitlačován na suport. Dostatečným dotažením matice se vyvine upínací síla a nástroj je tak pevně upnut. Nástroj upnutý tímto způsobem je patrný z obrázku 1.2. ¹²



Obrázek 1.2 - Nástroj upnutý upínkou ¹²

Tento způsob se využívá u obráběcích strojů, které nejsou vybaveny nástrojovou hlavou.

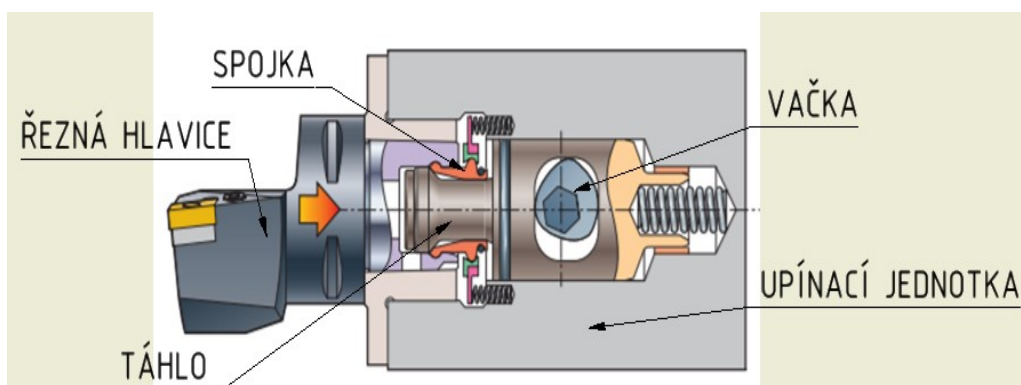
1.2.4 Upínání Coromant Capto

Jedná o poměrně nový a moderní, modulární upínací systém, který byl poprvé představen v roce 1990. Jedná se o vůbec první upínací systém tohoto charakteru. Využití tohoto systému je velmi efektivní, protože umožňuje rychlou výměnu nástrojů. Tento systém je možné použít pro všechny varianty obrábění. Pomocí tohoto systému lze upínat pouze speciální řezné hlavice, které jsou pro tento systém určeny. Tyto řezné hlavice se upínají do speciálních upínacích jednotek. V roce 2008 byl tento systém normalizován a zapsán do norem ISO. Od tohoto roku bylo možné tento systém běžně používat na všech vhodných soustružnických centrech. Během následujících let byla rozšířena nabídka o nové druhy nástrojů pro tento upínací systém. ⁵

Systém Coromant Capto je vyráběn v 6 velikostech. Jednotlivé velikosti se značí písmenem C a číslem od C3 až po velikost C8. V roce 2010 byla do nabídky přidána velikost

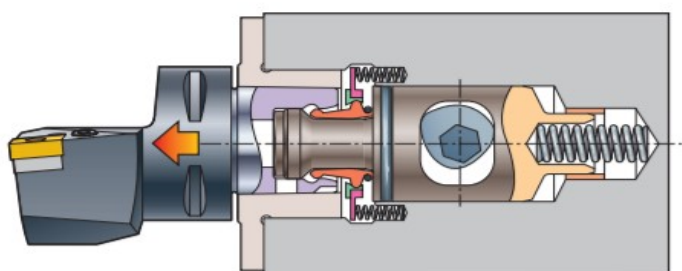
C10, která je určena pro velmi náročné operace. Díky modulární konstrukci tohoto systému je možné pomocí prodlužovacích nebo redukčních adaptérů sestavit nástroje vhodných délek a tvarů, potřebných pro složité operace. Pro tento systém je k dostání velká škála různých druhů adaptérů, čímž je zajištěna vysoká využitelnost pro specifické nároky.⁵

Řezné hlavice pro tento systém jsou zakončeny kuželovou polygonovou stopkou, před začátkem této stopky je hlavice opatřena čelní dosedací plochou. V ose stopky je neprůchozí otvor se zápchem pro osazení spojky. Nástroj se tedy vsune stopkou do upínací jednotky. V ose polygonového otvoru v upínací jednotce je umístěno táhlo, na kterém je navléknuta spojka. V tomto táhle je kolmo na jeho osu zhotoven průchozí obdélníkový otvor. V tomto otvoru je umístěna ovládací vačka vačkové hřídele. Vačková hřídel je uložena v upínací jednotce a její čep je o opatřen vnitřním šestihranem. Otočením vačkové hřídele doprava dojde k zasunutí táhla do jednotky a současně dojde k zapření spojky mezi stopkou řezné hlavice a táhlem. Tímto způsobem je řezná hlavice vtažena a zapřena čelní dosedací plochou do upínací jednotky s předpětím, jak je vidět na obrázku 1.3.⁵



Obrázek 1.3 - Upínání řezné hlavice do upínací jednotky Coromant Capto⁵

Otočením vačky na opačnou stranu dojde k vysunutí táhla z upínací jednotky a uvolnění spojky. Zároveň táhlo vytlačí řeznou hlavici z upínací jednotky viz obrázek 1.4 a je možné ji vyjmout.⁵



Obrázek 1.4 - Demontáž řezné hlavice z upínací jednotky Coromant Capto⁵

Polygonový tvar stopky řezné hlavice zaručuje symetrické rozložení zatížení od kroutícího momentu. Systém Coromant Capto zaručuje díky své konstrukci vysokou upínací sílu, stabilní a přesné upnutí odolné vůči namáhání ohybem a krutem. Na zajištění nástroje postačí pouze ½ otáčky vačkové hřídele. Aby nemohlo dojít k uvolnění nástroje v průběhu obrábění je vačkový hřídel konstruován jako samosvorný. Tento systém je navržen tak, aby bylo možno využít vnitřní přívod chladicí kapaliny. ⁵

Velkou výhodou tohoto systému je opakovatelná přesnost, která je menší než $\pm 2 \mu\text{m}$ v osách x, y, z. Díky této přesnosti je možno nástroj přednastavit mimo stroj, a dosáhnout tak vysoké výrobní dávky s minimem vedlejších časů. Dále je díky modulárnosti tohoto systému možné tímto systémem nahradit speciální a drahé nástroje. ⁵

Tento systém se primárně využívá především k upínání nástrojů do revolverových hlav obráběcích center, ale lze jej využít i v otočné nožové hlavě univerzálních soustruhů. ^{3,5}

1.2.5 Upínání Kennametal KM Quick Change

Jedná se o modulární upínací systém, který umožňuje rychlou výměnu nástrojů. Stejně jako u systému Coromant Capto jsou pro tento systém dodávány různé druhy adaptérů. Tento systém je dodáván ve 4 řadách a každá řada je rozdělena do několika velikostí. ⁴

KM Micro a KM Mini

Tyto řady umožňují rychlou výměnu nástrojů na soustruzích typu SWISS, nebo na menších soustruzích. Každá z těchto řad se vyrábí ve čtyřech velikostech. ⁴

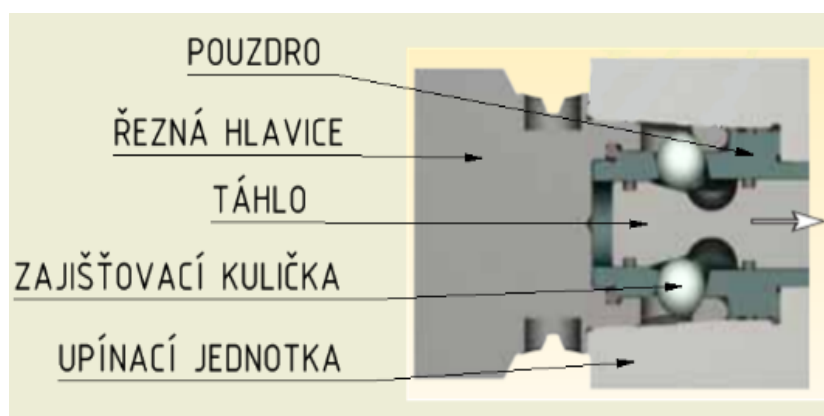
KM – TS

Jedná se o nejpoužívanější řadu tohoto systému. Tato řada je zapsána do norem ISO a je vhodná pro běžné soustružení. Zaručuje dobré parametry upnutí a jejím použitím jsou zaručeny optimální výsledky obrábění a dobrá produktivita. Tato řada je vyráběna ve čtyřech velikostech. ⁴

KM4X

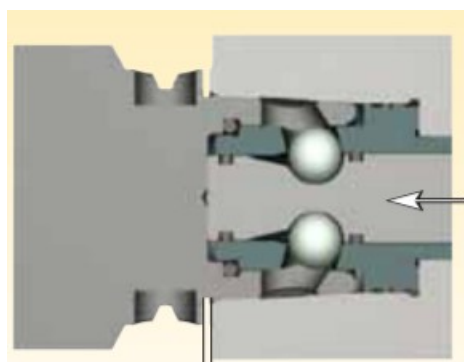
Jedná se o nejnovější řadu tohoto systému, zaručuje vyšší upínací sílu, extrémní tuhost upnutí a dobré tlumení vibrací. Z toho vyplývá, že je určena pro velmi náročné soustružení. Díky těmto vlastnostem je možné využít plného výkonu obráběcího stroje a docílit tak velmi produktivního obrábění. Tato řada se vyrábí pouze v jedné velikosti. ⁴

Řezné hlavice pro tento způsob jsou zakončeny kruhovou kuželovou dutou stopkou, před touto stopkou jsou řezné hlavice osazeny čelní dosedací plochou. Na obvodu stopky jsou zhotoveny zpravidla čtyři speciální díry pro zajišťovací kuličky. Tato stopka řezné hlavice se vsune do kuželového otvoru upínací jednotky. V ose upínací jednotky je umístěno táhlo s prohlubněmi pro zajišťovací kuličky, každá prohlubeň je opatřena náběhem, který umožňuje pohyb zajišťovacích kuliček. Toto táhlo osazené zajišťovacími kuličkami je vsunuté v dutém pouzdru upínací jednotky, na jehož obvodě jsou zhotoveny speciální díry pro vedení zajišťovacích kuliček. Vložená řezná hlavice se upíná vtažením táhla do upínací jednotky, jak je vidět na obrázku 1.5. Vtažením tohoto táhla najedou zajišťovací kuličky na náběhy v táhle. Tímto dojde k zapření zajišťovacích kuliček o stěny děr ve stopce řezné hlavice a dosednutí čelní dosedací plochy. Takto je řezná hlavice spolehlivě upnuta do upínací jednotky.⁴



Obrázek 1.5 - Upínání řezné hlavice do upínací jednotky KM⁴

Demontáž upnuté řezné hlavice je znázorněna na obrázku 1.6 a provede se vsunutím táhla do upínací jednotky, tímto se zajišťovací kuličky vrátí zpět do prohlubně a řezná hlavice se uvolní a je možné ji vyjmout.⁴



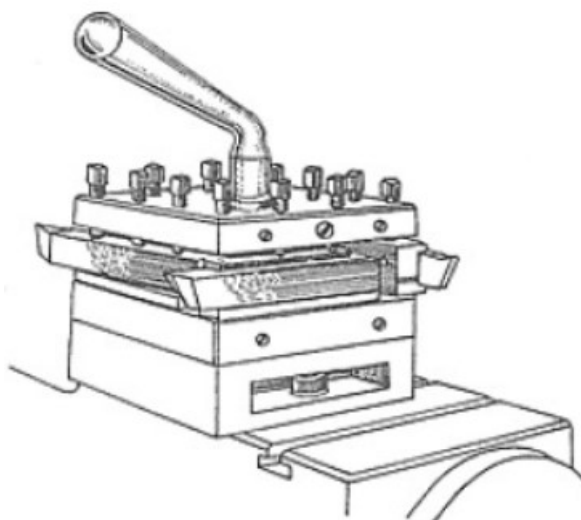
Obrázek 1.6 - Demontáž řezné hlavice do upínací jednotky KM⁴

1.3 Upínání nástrojů v závislosti na konstrukci obráběcího stroje

Na základě konstrukce obráběcího stroje je možné upnutí nástroje do nástrojových hlav nebo na suport. Do nástrojových hlav se nástroje upínají přímo nebo nepřímo pomocí speciálních nástrojových držáků nebo upínacích jednotek. Nástrojové hlavy mohou být revolverové nebo otočné. V následujících odstavcích budou jednotlivé možnosti podrobněji popsány.⁸

1.3.1 Upnutí do otočné nožové hlavy

Otočná nožová hlava, patrná z obrázku 1.7 se používá výhradně u konvenčních obráběcích strojů. Tato nožová hlava umožňuje současné upnutí čtyř nástrojů. Pro volbu potřebného nástroje lze po odjištění touto hlavou otáčet o 360°. Konstrukce upínacích drážek umožňuje přímé upnutí pouze nástrojů se čtvercovým nebo obdélníkovým průřezem upínací části. Způsob upínání nástrojů je řešen pomocí upínacích šroubů. Před konečným upnutím je nutné nástroj výškově nastavit, tak aby špička nástroje byla v ose obrobku. Výškové nastavení se provádí vkládáním ocelových podložek.^{8, 11}

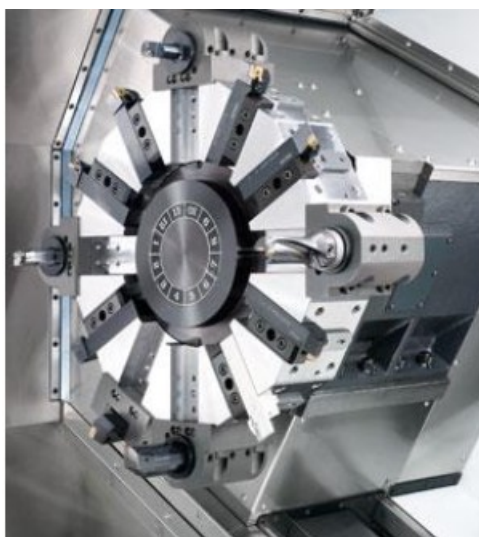


Obrázek 1.7 - Otočná nožová hlava¹

1.3.2 Upnutí do revolverové hlavy

Revolverová hlava umožňuje rychlé a přesné nastavení nástroje vůči upnutému obrobku. Pro volbu potřebného nástroje je revolverová hlava otočná kolem své osy o 360°. Revolverovou hlavou jsou vybaveny revolverové, automatické nebo svislé soustruhy. Revolverová hlava může být použita také i na univerzálním soustruhu. V současné době nachází revolverová hlava největší uplatnění na CNC soustružnických obráběcích centrech a CNC soustruzích.^{3, 8}

Revolverová hlava umožňuje současné upnutí podstatně většího počtu nástrojů oproti otočné nožové hlavě. Možný počet současně upnutých nástrojů závisí na velikosti a konstrukci revolverové hlavy. Díky většímu počtu upnutých nástrojů je tedy možné obrábět složité součásti na jedno upnutí bez nutnosti přerušení obrábění z důvodu mechanické výměny nástroje. Pokud navíc konstrukce revolverové hlavy umožňuje upnutí poháněných nástrojů dochází k podstatnému zvýšení výrobních možností stroje. Díky použití poháněných nástrojů je možné na jednom stroji a na jedno upnutí do obrobku vrtat díry, řezat závity nebo frézovat plochy či drážky. Jistou nevýhodou využití těchto poháněných nástrojů může představovat nižší tuhost. Nižší tuhost je způsobena tím, že upínací jednotky pro poháněné nástroje nejsou plně zabudovány do konstrukce stroje. Při použití obráběcího stroje vybaveného revolverovou hlavou k výrobě složitých součástí se výrazně snižuje vedlejší čas a tím se zvyšuje produktivita výroby. Díky těmto vlastnostem se v současné době CNC obráběcí soustružnická centra vybavují právě revolverovou nožovou hlavou viz obrázek 1.8. ^{3, 8, 11}



Obrázek 1.8 - Revolverová hlava CNC obráběcího centra s kombinovaným umístěním nástrojů ¹³

Revolverové hlavy je možno rozdělit podle polohy osy rotace následovně:

- revolverové hlavy s vodorovnou osou,
- revolverové hlavy s šikmou osou,
- revolverové hlavy se svislou osou. ¹⁵

Nástroje se do revolverové hlavy upínají přímo nebo nepřímo. V závislosti na konstrukci revolverové hlavy a nástrojových držáků je možné nástroje upínat buď na čelo, nebo na obvod hlavy v různých polohách vůči ose revolverové hlavy. Tyto polohy jsou následující:

- osy nástrojů kolmé na osu otáčení revolverové hlavy,
- osy nástrojů rovnoběžné s osou otáčení revolverové hlavy,
- osy nástrojů tvoří površky kuželu. Osa tohoto kuželu je totožná s osou otáčení revolverové hlavy,
- kombinace předešlých uložení.¹⁶

Možností, jakými lze upnout nástroje, nástrojové držáky nebo upínací jednotky do revolverové hlavy je několik, tyto možnosti se odvíjí od konstrukce revolverové hlavy a jsou následující:

- upnutí do upínacích drážek,
- upnutí do otvorů,
- přišroubováním k revolverové hlavě.

Upnutí do upínacích drážek

V tomto případě je revolverová hlava opatřena drážkami pro vložení a upnutí nástroje, nástrojového držáku nebo upínací jednotky. Na dně drážky bývají zpravidla otvory se závity. Do takovéto hlavy je možno nástroj upnout přímo pomocí dvojice upínacích klínů nebo pomocí desky s tlačnými šrouby. Při nepřímém upnutí se do drážky vloží nástrojový držák s již upnutým nástrojem. Nástrojový držák se upne pomocí spojovacích šroubů, vložených v otvorech tohoto držáku. Tyto šrouby se zašroubují do otvorů se závity v nožové hlavě. Utažením těchto šroubů je držák zajištěn v nožové hlavě.

Upnutí do otvorů

Pro tento případ jsou v revolverové hlavě zhotoveny kruhové otvory, do kterých se vkládá nástrojový držák s již upnutým nástrojem. V současné době se k tomuto způsobu využívají zpravidla nástrojové držáky se stopkou VDI.³

Příšroubování k revolverové hlavě

Takto se na obvod revolverové hlavy připevňují pomocí čtyř a více šroubů zpravidla upínací jednotky pro poháněné nástroje nebo nástrojové držáky osových nástrojů.¹¹

1.3.3 Upnutí nástroje na suport

Tento způsob se v současné době využívá na velkých nebo mini soustruzích a na některých soustruzích určených k obrábění dřeva. Na tyto soustruhy je možno upnout pouze jeden nástroj. Jelikož se soustruhy s tímto upínáním používají k výrobě jednoduchých součástí, nebo k modelářské výrobě, u které se nepředpokládá vysoká produktivita, je možnost upnutí jednoho nástroje dostačující. Nástroj se zde upíná pomocí upínek.^{8,9}

2 Upínání nástrojů na soustruhu EMCO T120

2.1 Popis soustruhu EMCO T120

Jedná se o malý CNC soustruh rakouské výroby. Tento CNC soustruh je konstruován k obrábění hřídelí nebo součástí přírubového typu. Pro upínání nástrojů je tento soustruh osazen revolverovou hlavou. Jedná se o kruhovou osmipolohovou revolverovou hlavu, na jejímž čele jsou zhotoveny drážky pro upnutí nástrojů. Pro upínání nástrojových držáků jsou na dnech těchto drážek zhotoveny otvory se závity. Pro upínání obrobků je stroj vybaven tříčelistovým sklíčidlem. V případě upínání kruhových tyčí je možné do tohoto sklíčidla upnout tyč o maximálním průměru 40 mm. Pro podepření delších součástí je stroj vybaven také koníkem. Konstrukce stroje dále umožňuje i chlazení nástrojů. Snadný odvod třísek je zajištěn pomocí šikmého lože.²

Dráha nástroje je řízena souvisle se stálou polohovou zpětnou vazbou. Nástroj se může synchronizovaně pohybovat ve dvou souřadných osách X a Z. Posuv zajišťují krokové motory, které otáčejí kuličkovými šrouby. Pro vysokou přesnost výroby se tyto šrouby pohybují v předepnutých maticích. Základní technické parametry tohoto soustruhu jsou uvedeny v tabulce 1.²

Tabulka 1 - Základní technické parametry stroje EMCO T120²

Pracovní rozsah		
	Oběžný průměr nad ložem [mm]	180
	Oběžný průměr nad příčným suportem [mm]	75
	Největší soustružená délka [mm]	160
	Největší průměr obrobku [mm]	90
Vřeteno		
	Vrtání vřetene [mm]	20,7
	Rozsah otáček [min ⁻¹]	150 - 4000
Hlavní pohon		
	Výkon stejnosměrného motoru [kW]	4
	Maximální kroutící moment [Nm]	23
Posuvové pohyby		
	Posuv v osách X, Y [mm · min ⁻¹]	1 - 2000
	Rychloposuv [m · min ⁻¹]	3

2.2 Popis stávajícího upínání nástrojů

Jak již bylo zmíněno, u soustruhu EMCO T120 se nástroje upínají do revolverové hlavy. Nástroje nebo nástrojové držáky jsou zde vkládány a upínány do upínacích drážek zhotovených na čele hlavy. Pro vnitřní soustružení a speciální operace se osové nástroje upínají do nástrojových držáků. Tyto nástrojové držáky se do upínacích drážek upevňují

pomocí dvojice spojovacích šroubů. Šrouby vložené v dírách nástrojového držáku se zašroubovávají do závitů v revolverové hlavě a jejich dostatečným dotažením je nástrojový držák zajištěn v upínací drážce viz obrázek 2.1.



Obrázek 2.1 - Nástrojový držák s nástrojem upnutý v upínací drážce

Pro zapichování, podélné a čelní soustružení se soustružnické nože upínají kolmo na osu rotace revolverové hlavy. Soustružnické nože pro tyto operace se v upínacích drážkách upínají přímo pomocí upínacího systému, který je tvořen ocelovou přitlačnou deskou se závity a dvojicí upínacích šroubů s šestihrannou tlačnou hlavou.



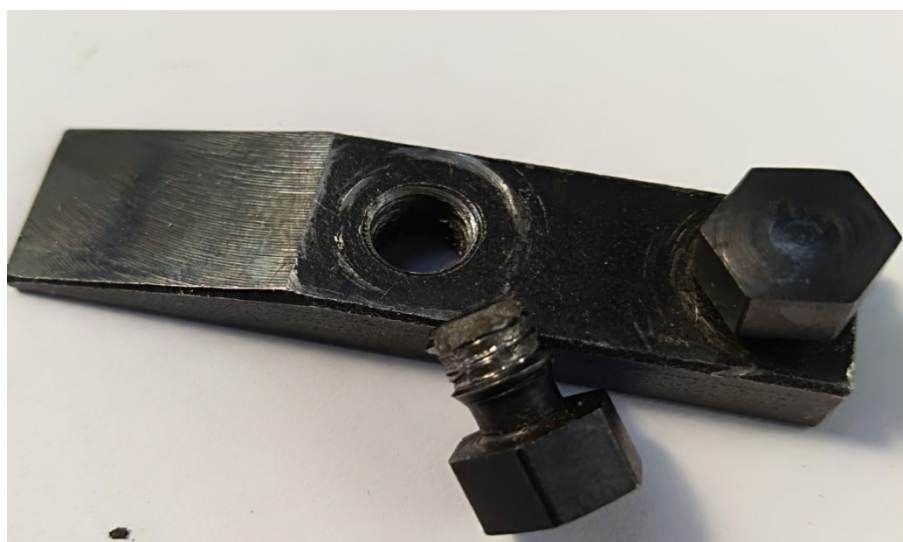
Obrázek 2.2 - Nástroj upnutý stávajícím upínacím systémem

Tento upínací systém se vkládá nad upínací část soustružnického nože. Po umístění soustružnického nože do revolverové hlavy je před samotným vložením upínacího systému nutné zašroubovat oba šrouby do desky. Zašroubováním obou upínacích šroubů se vytvoří vůle potřebná k pohodlnému vložení upínacího systému do prostoru nad soustružnickým nožem. Po vložení upínacího systému je nutné rovnoměrně vyšroubovávat oba šrouby. Vyšroubováváním se hlavy upínacích šroubů zapřou o horní stěnu upínací drážky a upínaný nástroj je přitlačován ocelovou deskou na spodní stěnu upínací drážky. Upínací síla je tedy vyvozena vzepřením upínacího systému mezi nástrojem a stěnou upínací drážky. Pro spolehlivé upnutí je tedy nutné vyvinout potřebnou upínací sílu dostatečným vyšroubováním obou šroubů z ocelové přitlačné desky.

Pro uvolnění soustružnického nože stačí tyto šrouby zašroubovat zpět do desky a upínací systém i s nožem vyjmout. Na manipulaci šrouby se používá plochý klíč velikosti 8 mm. Přístupnost šroubů tímto klíčem je z prostorových důvodů náročnější. Tento upínací systém je velmi jednoduchý, praktický a nenáročný na obsluhu.

2.2.1 Problémy stávajícího upínacího systému

Po dlouhodobějším používání tohoto upínacího systému ovšem začalo docházet k určitým problémům. Zásadním nedostatkem konstrukce tohoto upínacího systému jsou poddimenzované závity s poměrně vysokým stoupáním ke způsobu užití. Tyto závity se v průběhu provozu stroje začaly postupně deformovat a jelikož jsou použité šrouby kalené, začalo docházet i k postupnému odlamování částí profilu závitu, jak je vidět na obrázku 2.3. Vlivem postupného stupňování těchto poškození začala být manipulace se šrouby s poškozenými závity náročná a nepohodlná.



Obrázek 2.3 - Poškození závitu stávajícího systému

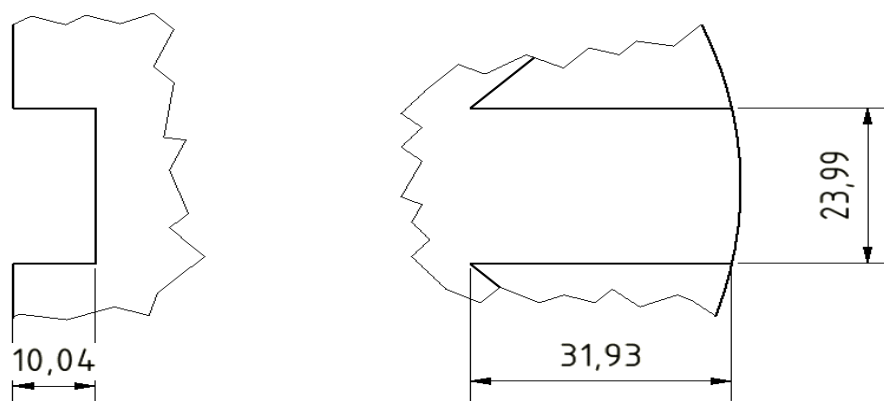
I když se výměna nástrojů na tomto soustruhu neprovádí často, je třeba tento problém řešit z důvodu možné nespolehlivosti upínacího systému. Pokud by byl tento systém používán dále, došlo by k úplnému stržení závitů a selhání tohoto systému. Jelikož je pro soustruh EMCO T120 velmi špatná dostupnost náhradních dílů nelze tento upínací systém zakoupit nový.

3 Volba a předběžný návrh vhodného způsobu upínání

Pro správnou volbu a následný návrh nového způsobu upínání bylo nutné provést analýzu výchozí situace. To znamená, že musely být vyjasněny veškeré požadavky na nový upínací systém. Podle těchto požadavků bylo třeba vybrat vhodný způsob upínání a navrhnout jeho aplikaci do revolverové hlavy soustruhu EMCO T120.

3.1 Popis výchozí situace

Před samotnou volbou a návrhem nového způsobu upínání byly změřeny rozměry upínací drážky v revolverové hlavě soustruhu EMCO T120. Dále byly zjištěny rozměry upínacích částí všech soustružnických nožů, které se na tomto soustruhu využívají. Jelikož všechny tyto soustružnické nože mají upínací část čtvercového průřezu o rozměrech 12 mm x 12 mm, může být nový upínací systém zvolen a navržen jednotně pro všechny tyto nástroje. Tyto nástroje není nutné výškově nastavovat, to znamená že volený upínací systém nemusí umožňovat výškové nastavení nástrojů.



Obrázek 3.1 - Náčrt upínací drážky s rozměry

Z naměřených rozměrů upínací drážky viz obrázek 3.1 byla pro volbu a návrh nového způsobu upínání rozhodující její šířka. Šířka této drážky činila 23,99 mm. Pro zjištění možné výšky upínacího systému bylo nutné od rozměru šířky drážky odečíst výšku upínací části soustružnického nože. Z toho odečtu vyplynulo, že navrhovaný upínací systém se musí vejít do prostoru o výšce maximálně 11,99 mm, což není zrovna mnoho. Do tohoto místa je tedy nutné zvolit a navrhnout takový upínací systém, který musí jednak rozměrově odpovídat a zároveň jím musí být vyvinuta dostatečná upínací síla. Dále musí být nový upínací systém navržen tak, aby jej bylo možné použít bez podstatných zásahů do konstrukce revolverové

hlavy. Funkce navrženého upínacího systému bude ověřena experimentálně při obrábění ocelového obrobku.

3.2 Možné způsoby upnutí

Na základě dosud získaných informací, požadavků kladených na nový upínací systém, byly k upínání nástrojů do revolverové hlavy stroje EMCO T120 vybrány dva vhodné upínací způsoby:

- upravené upínání ocelovou se šrouby s tlačnou hlavou,
- upínání dvojicí klínů,

3.2.1 Upravené upínání ocelovou deskou se šrouby s tlačnou hlavou

Tato možnost spočívá v úpravě stávajícího upínacího systému využitého na soustruhu EMCO T120. U stávajícího upínacího systému jsou zničeny i závity v přítlačné desce a její rozměry neumožňují převrtání a následné vyřezání nového většího závitu pro použití větších šroubů. Pokud by do stávající desky byly vyřezány větší závity, zbylo by okolo díry s tímto závitem velmi málo materiálu. Z této skutečnosti vyplývá, že renovace stávajícího systému tímto způsobem není pro zajištění spolehlivosti a vysoké životnosti systému možná. Je ovšem možné na základě stávajícího upínacího systému navrhnout jeho vylepšenou variantu.

Nová varianta by spočívala ve výrobě nové přítlačné desky o stejných rozměrech jako deska stávající. Pro zvětšení nosné výšky závitů je nutné zvolit závity s jemnějším stoupáním oproti stoupání závitů použitých na stávajícím systému. Pro tuto úpravu by byl nejvhodnější závit M6 se stoupáním 0,5 mm. Upínací šrouby s požadovanou tlačnou hlavou pro klíč velikosti 8 mm jsou pro tento závit špatně dostupné a drahé. Potřebné upínací šrouby by tedy bylo nutné speciálně vyrobit.

Pokud by se i u takto upraveného upínacího systému závity deformovaly, bylo by nutné zvětšit tloušťku přítlačné desky pro zvýšení nosné výšky závitů. Pro zachování maximální možné výšky upínacího systému by bylo nutné pro větší tloušťku přítlačné desky zmenšit výšku tlačných hlav upínacích šroubů. Jelikož běžný plochý klíč o velikosti 8 mm má čelisti o výšce 6 mm, bylo by nutné pro manipulaci se šrouby se sníženými hlavami použít upravený plochý klíč s nižší výškou čelistí.

3.2.2 Upínání dvojicí upínacích klínů

Tento způsob upínání byl vybrán na základě inspirace upínacím systémem použitým v revolverové hlavě CNC soustružnického obráběcího centra DMG MORI NLX 2500/700.

Pro upnutí nástroje do revolverové hlavy tohoto obráběcího centra se nad nebo pod upínací část nástroje vloží sestava dvou klínů. Velký klín je v tomto případě osazen dvěma dírami se zahloubením pro montážní šrouby sloužící k nasouvání klínů na sebe a jednou zahloubenou dírou se závitem pro šroub sloužící k demontáži. Revolverová hlava tohoto obráběcího centra je zpočátku konstruovaná k použití tohoto upínacího systému. To znamená, že jsou na dnech upínacích drážek vyrobeny díry se závity v patřičné výšce a se shodnou roztečí, jako díry pro montážní šrouby ve velkém klínu. Tato upínací drážka je patrná z obrázku 3.2.



Obrázek 3.2 - Upínací drážka v revolverové hlavě stroje DMG MORI NLX 2500/700

Před upnutím těmito klíny je nutné vyšroubovat šroub určený pro demontáž, tak aby konec jeho dříku nepřesahoval přes zadní stěnu velkého klínu. Po vsunutí montážních šroubů do děr ve velkém klínu se tyto šrouby zašroubují do děr se závity zhotovenými v revolverové hlavě. Jakmile hlava šroubu dosedne do zahloubení, dochází při rovnoměrném dotahování obou šroubů k nasouvání velkého klínu na malý. Malý klín je zajištěn proti současnému posuvu opřením o dno upínací drážky v revolverové hlavě. Nasouváním dochází k rozepření klínů mezi nástrojem a boční stěnou upínací drážky, tímto způsobem dochází k vyvození upínací síly a nástroj je spolehlivě upnut viz obrázek 3.3. Pro demontáž upnutého nástroje je nutné povolit montážní šrouby a zašroubovat prostřední šroub určený k demontáži. Zašroubováním tohoto šroubu dojde k odtlačení velkého klínu ode dna upínací drážky a vyrušení upínací síly.



Obrázek 3.3 - Nástroj upnutý upínacími klíny v revolverové hlavě stroje DMG MORI NLX 2500/700

Využití zcela totožného upínacího systému užitého na obráběcím centru DMG MORI NLX 2500/700 není u soustruhu EMCO T120 možné. Revolverová hlava soustruhu EMCO T120 totiž není na tento způsob upnutí konstruována. Ve dnech upínacích drážek v revolverové hlavě soustruhu EMCO T120 jsou sice k přišroubování nástrojových držáků zhotoveny dvojice děr se závity, tyto díry jsou ovšem zhotoveny v nevhodné výšce, a navíc jejich osa není kolmá na dno upínací drážky.

Použití zcela totožného upínacího systému na soustruhu EMCO T120 by vyžadovalo zhotovení přidavných děr se závity přímo do revolverové hlavy tohoto soustruhu. Tato úprava by byla poměrně velkým a náročným zásahem do této hlavy, což je zcela nevhodné. Pro využití dvojice upínacích klínů k upínání nástrojů na soustruhu EMCO T120 bude nutné navrhnout, jakým způsobem se budou na sebe tyto klíny nasouvat.

Pro vzájemné nasouvání dvojice upínacích klínů na sebe bez nutného zásahu do revolverové byly navrženy tyto varianty:

- Odtláčování velkého klínu ode dna upínací drážky,
- Vtlačování malého klínu pod velký.

3.3 Zvolený způsob upínání

Po srovnání vlastností možných způsobů upínání bylo rozhodnuto, že nové upínání nástrojů do revolverové hlavy soustruhu EMCO T120 bude realizováno pomocí dvojice upínacích klínů. Tento způsob byl zvolen důvodu jednoduchosti a menší náročnosti na výrobu.

4 Návrh upínání dvojicí klínů pro soustruh EMCO T120

Před samotným návrhem kompletního upínacího systému bylo třeba pro navrhovaný upínací systém zvolit tyto základní konstrukční parametry:

- rozměry,
- velikost úhlu sklonu klínové plochy,
- materiál.

4.1 Základní konstrukční parametry

4.1.1 Celkové rozměry kompletního upínacího systému

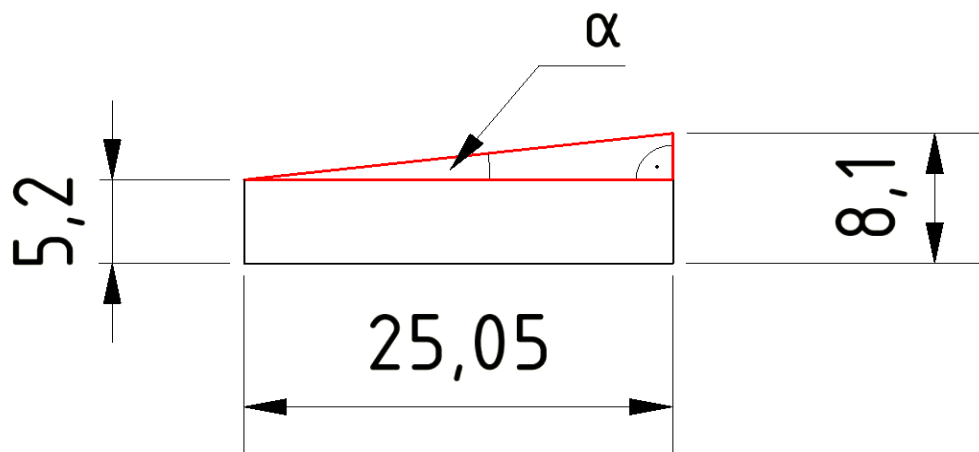
Z již výše uvedených rozměrů prostoru pro upínací systém je patrné, že limitním rozměrem je celková výška sestavy nevysunutých klínů. Na základě této výšky je nutné navrhnout výškové rozměry jednotlivých klínů tak, aby bylo do těchto klínů možné zhotovit konstrukční prvky potřebné pro jejich vzájemné nasouvání. Dále také musí být tyto rozměry zvoleny tak, aby bylo možné klíny s těmito rozměry vyrobit. Jednotlivé výškové a šířkové rozměry obou klínů jsou odvislé od způsobu, jakým se klíny na sebe nasouvají.

4.1.2 Sklon klínové plochy

Pro návrh kompletního upínacího systému pro revolverovou hlavu soustruhu EMCO T120 je nutné zvolit vhodnou velikost úhlu sklonu klínové plochy upínacích klínů, jelikož jsou touto velikostí ovlivněny následující parametry:

- velikost montážní síly,
- velikost demontážní síly,
- axiální složku reakce,
- celkovou účinnost systému.¹⁰

Ke zjištění orientační velikosti tohoto úhlu byly využity upínací klíny použité na obráběcím centru DMG MORI NLX 2500/700. Z tohoto důvodu byly jako první změřeny důležité rozměry těchto upínacích klínů. Jelikož velikosti úhlů sklonu klínové plochy musí být u obou klínů stejné, byl na základě změřených rozměrů vytvořen náčrt pouze malého klínu patrný z obrázku 4.1. Do tohoto náčrtu byl doplněn pravoúhlý trojúhelník, ze kterého byla velikost požadovaného úhlu vypočtena pomocí goniometrické funkce tangens. Velikost tohoto úhlu α vyšla po jistém zaokrouhlení $6,604^\circ$.



Obrázek 4.1 - Náčrt malého upínacího klínu pro výpočet úhlu

Na základě vypočtené velikosti tohoto úhlu byla stanovena velikost úhlu sklonu klínových ploch pro nový systém na 6° . Tato velikost byla zvolena jednak ke zmenšení nároků na přesnost výroby, ale také pro snížení potřebné montážní síly a axiální složky reakce.¹⁰

4.1.3 Materiál

Jelikož jsou upínací klíny namáhány na tlak, bylo nutné pro dlouhou životnost a spolehlivou funkci celého upínacího systému zvolit vhodný materiál, který odolává tlakovému namáhání. Z těchto důvodů byl na základě Strojnických tabulek zvolen jako nejvhodnější materiál 11 600.⁷

Popis materiálu 11 600

Jedná se o konstrukční uhlíkovou ocel s obtížnou svařitelností so obsahem uhlíku 0,5 %. Tato ocel odolává velkým tlakům a využívá se pro součásti namáhané staticky i dynamicky, jako jsou čepy, klíny, vřetena lisů, pastorky a šneky. Třída obrobitelnosti tohoto materiálu pro frézování, vrtání a řezání závitů je 14b. Ekvivalentní značení a mechanické vlastnosti jsou uvedeny v následující tabulce 2.^{6,7}

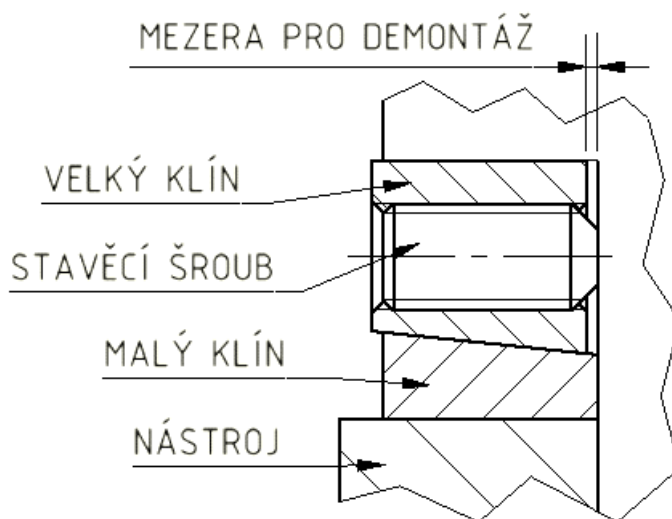
Tabulka 2 - Značení a mechanické vlastnosti materiálu klínů⁷

Značení			Mechanické vlastnosti			Třída odpadu
ČSN	EN - číselné	EN - zkrácené	Rm [Mpa]	Re [Mpa]	tvrdost HB	001
11 600	1.0060	E335	590 - 705	295 - 340	max. 205	

4.2 Odtlačování velkého klínu

Návrh této varianty byl zvolen přednostně z důvodu možné jednodušší konstrukce a menšího počtu potřebných dílů.

Jako první varianta byl zvolen systém, u kterého bylo rozpírání klínů realizováno odtlačováním velkého klínu ode dna upínací drážky. Tato varianta ke správné funkci vyžaduje obrácený sklon klínových ploch, než je tomu u upínacího systému na obráběcím centru DMG MORI NLX 2500/700. K odtlačování horního klínu bylo zvoleno použití dvojice šroubů. Tyto šrouby budou zašroubovávány do horního klínu. Pro tyto šrouby je tedy nutné zhotovení děr se závity v horním klínu. K zajištění co nejmenšího omezení výrobních možností stroje musí být zvoleny takové šrouby, jejichž hlavy nebudou ve velké míře přechnívat přes profil upínaného nástroje. Z toho důvodu bylo zvoleno použití vhodných stavěcích šroubů, jelikož tyto šrouby nemají hlavy, které by přes profil nástroje přechnívaly. Tato varianta je načrtnuta a popsána na obrázku 4.2.



Obrázek 4.2 - Náčrt a popis první varianty upínacího systému

Pro stavěcí šrouby byl zvolen v horním klínu závit M5. Šířka obou klínů pro tento způsob byla navržena na 10 mm. Délka obou klínů byla také navržena pro oba klíny stejně na 32 mm. Výška nejnižší boční stěny malého klínu byla stanovena na 1,6 mm, z důvodu umožnění co největší výšky velkého klínu pro případné zvětšení velikosti závitů. Navržená velikost výšky nejnižší boční stěny malého klínu je poměrně malá a mohla by způsobovat problémy při upínání obrobku malého klínu při výrobě. Je tedy možné, že při nezdařilém pokusu o výrobu bude nutno tuto výšku změnit. Výška velkého klínu byla stanovena na 10,3 mm. Celková výška sestavy takto navržených nevysunutých klínů tedy činí 11,9 mm.

Tato celková výška byla navržena o 0,09 mm nižší, než je možná výška prostoru nad soustružnickým nožem. Bylo tak učiněno z důvodu umožnění nepatrného vysunutí velkého klínu před rozepřením. Toto opatření zajišťuje vytvoření mezery mezi zadní stěnou velkého klínu a dnem upínací drážky pro nutnou demontáž. Demontáž klínů spočívá v částečném vyšroubování šroubů, tak aby konce jejich dříků byly zároveň se zadní stěnou velkého klínu. Klepnutím na přední stěnu velkého klínu dojde k zasunutí tohoto klínu do upínací drážky a vyrušení upínací síly vyvolané rozepřením. Jako vhodný typ šroubu byl navržen šroub stavěcí s plochým koncem a s vnitřním šestihranem o velikosti M5 x 10. Pro takto navržené klíny byly vytvořeny 3D modely v programu Autodesk Inventor Professional 2016.

4.2.1 3D tisk prototypů

Pro ověření správnosti zvolených rozměrů a funkčnosti takto navržených upínacích klínů byla před samotnou výrobou těchto klínů z oceli využita možnost vytvoření prototypů obou klínů pomocí 3D tisku.

Pro 3D tisk bylo nutné soubory modelů obou klínů exportovat do vhodného formátu. Tyto exportované soubory modelů klínů byly nahrány do programu pro 3D tisk. V tomto programu byly oba klíny pomocí vizualizace umístěny na pracovní stůl. Důležité bylo umístit oba klíny klínovitou plochou na pracovní stůl. Tímto opatřením bylo zajištěno, aby klínová plocha měla kvalitnější povrch s nižší drsností. Dále bylo nutné nastavit měřítko, požadovanou přesnost a míru vyplnění. Na základě 3D modelu byl pomocí programu automaticky vygenerován NC program pro tisk obou klínů.

K vytištění klínů byla použita 3D tiskárna EASY 3D MAKER. Výchozím polotovarem pro tisk byla struna o průměru 1,75 mm z materiálu PLA. Klíny byly tištěny při těchto parametrech tisku:

- přesnost: 0,1 mm,
- teplota při tisku: 210 °C,
- Tloušťka vnějších stěn klínů: 0,5 mm,
- Míra vyplnění: 15 %.

Na zhotovení prototypů obou klínů bylo použito 949 mm struny základního materiálu. Při takto zvolených parametrech celý tisk obou klínů současně trval pouze 39 minut a 49 sekund.

Po vytištění bylo nutné z klínů odstranit základní vrstvu, na kterou se tiskly pomocí pinzety a nožíku. Jelikož nebylo možné pomocí 3D tisku zhotovit kompletní díry se závitem

M5, byly tedy tiskem zhotoveny pouze díry o průměru předvrtaného otvoru pro závit M5. Do těchto děr bylo nutné potřebné závity vyřezat ručně ve svěráku pomocí sadových závitníků a vratidla.

4.2.2 Vyzkoušení prototypů

Pro účely vyzkoušení byly do závitů ve velkém klínu zašroubovány šrouby M5 s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem. Takto zkompleťovaný upínací systém byl vložen do revolverové hlavy soustruhu EMCO T120 nad upínací část soustružnického nože. Následně byly postupně zašroubovávány oba šrouby. Tímto zašroubováváním byl opravdu velký klín nasouván na malý a odtlačován ode dna upínací drážky. Při tomto vysouvání se ovšem projevil zásadní nedostatek. Pro rozeptření klínů a vyvinutí alespoň nějaké upínací síly, musel být velký klín vysunut zhruba o polovinu jeho šířky. Tohle poměrně velké vysunutí velkého klínu by znemožňovalo vyvinutí větší upínací síly, dále by zapříčinilo nestabilní upnutí a také zmenšení styčné plochy. Zmenšení styčné plochy by v průběhu používání mohlo vést k otlacení styčných ploch klínů, což je nepřijatelné. Pokud by byla takto navrženými klíny vyvinuta větší upínací síla, docházelo by k vyvracení celého upínacího systému včetně soustružnického nože.

V malé míře se na velikosti tohoto vysunutí podílela i nízká tuhost materiálu prototypů klínů, ovšem tento podíl byl vůči zjištěné velikosti vysunutí zanedbatelný. Tato závada byla tedy primárně způsobena nevhodným návrhem celkové výšky sestavy nevysunutých klínů. Výška sestavy nevysunutých klínů byla totiž navržena o 0,09 mm nižší, než je výška prostoru nad soustružnickým nožem. Tato menší výška byla navržena pro umožnění nepatrného vysunutí velkého klínu. Tímto nepatrným vysunutím mělo být zajištěno vytvoření mezery pro demontáž mezi zadní stěnou velkého klínu a dnem upínací drážky. Velikost této mezery se ovšem při praktickém ověření ukázala mnohonásobně větší než velikost předpokládané mezery. Díky tomuto odzkoušení byly včas odhaleny chyby v návrhu.

4.2.3 Náprava zjištěných nedostatků

Na základě zjištěné nedostatečné výšky sestavy nevysunutých klínů byly výšky jednotlivých klínů upraveny tak, aby celková výška klínů byla 11,99 mm. Pro usnadnění upínání obrobku malého klínu při výrobě, byla nakonec zvětšena výška nejnižší boční stěny tohoto klínu z původních 1,6 mm na 3 mm. Pro snadnější ustavování a manipulaci byl malý klín také prodloužen na 35 mm. Aby byla zachována navržená výška sestavy, musel být velký klín snížen na výšku 8,99 mm. Po těchto úpravách byly zvoleny vhodné polotovary

s ohledem na zajištění přídavku na upnutí polotovaru malého klínu. Následně byla vytvořena výkresová dokumentace obou klínů viz přílohy A, B a upínací klíny byly zadány k výrobě z oceli.

4.2.4 Výroba upínacích klínů

Výroba probíhala v dílnách Vysoké školy báňské Technické univerzity Ostrava na CNC frézovacím obráběcím centru DMG MORI DMU 50. Protože se jednalo o první zkušební kusy, byly vhodné polotovary vybrány pouze na základě rozměrů klínů z polotovarů dostupných ve skladu materiálu dílen, bez ohledu na druh materiálu a navržený polotovar.

Postup výroby jednotlivých klínů bude popsán zjednodušeně popisem úkonu s použitým nástrojem a použitými řeznými podmínkami. Pro názornost budou některé úseky nebo úkony doplněny fotografií.

a) Výroba malého klínu

1. Upnutí polotovaru

svěrák KASTR CU-T 77

2. Zarovnání základny

Nástroj: Čelní válcová fréza ϕ 25 mm

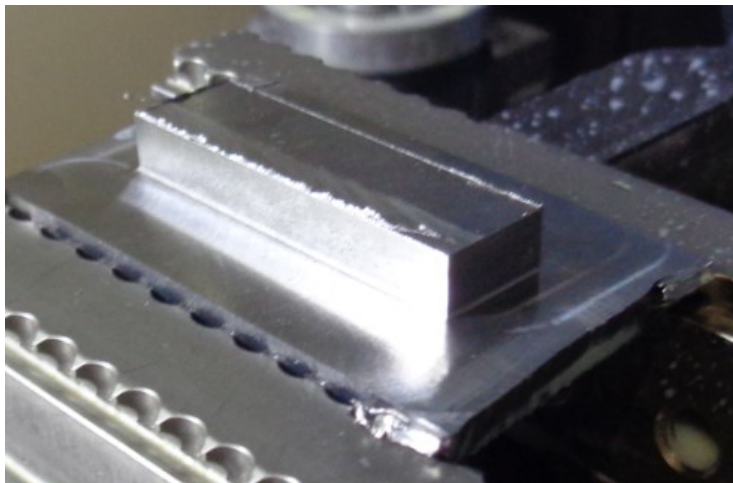
Řezné podmínky: hrubování - $v_c = 200$ m/min, $f_z = 0,12$ mm

dokončování - $v_c = 200$ m/min, $f_z = 0,08$ mm

3. Obrobení bočních stěn viz obrázek 4.3

Nástroj: stopková fréza ϕ 16 mm

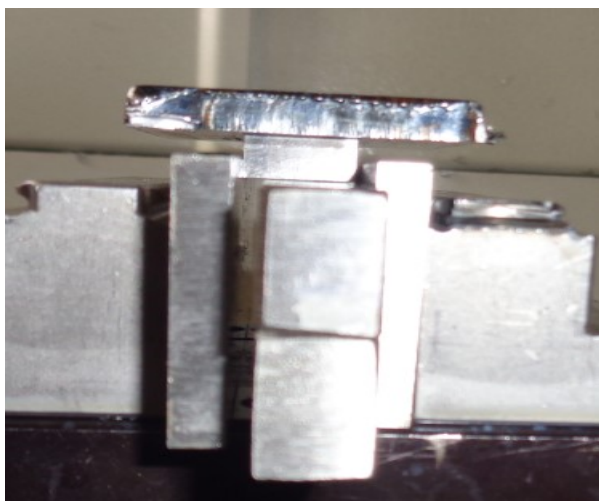
Řezné podmínky: $v_c = 200$ m/min, $f_z = 0,1$ mm



Obrázek 4.3 – Obrobení bočních stěn

4. Otočení a upnutí obrobku viz obrázek 4.4

svěrák KASTR CU-T 77, ustavovací hranoly



Obrázek 4.4 - Upnutí pomocí ustavovacích hranolů

5. Ofrézování přídavku

Nástroj: Čelní válcová fréza ϕ 25 mm

Řezné podmínky: $v_c = 200$ m/min, $f_z = 0,12$ mm

6. Frézování klínové plochy

Nástroj: Čelní válcová fréza ϕ 25 mm

Řezné podmínky: $v_c = 200$ m/min, $f_z = 0,08$ mm

b) Výroba velkého klínu

1. Upnutí polotovaru

svěrák KASTR CU-T 77

2. Zarovnání čela klínu

Nástroj: Čelní válcová fréza ϕ 25 mm

Řezné podmínky: $v_c = 200$ m/min, $f_z = 0,12$ mm

3. Obrobení bočních stěn a spodní základny

Nástroje: hrubování - stopková fréza ϕ 16 mm

dokončování - stopková fréza ϕ 12 mm

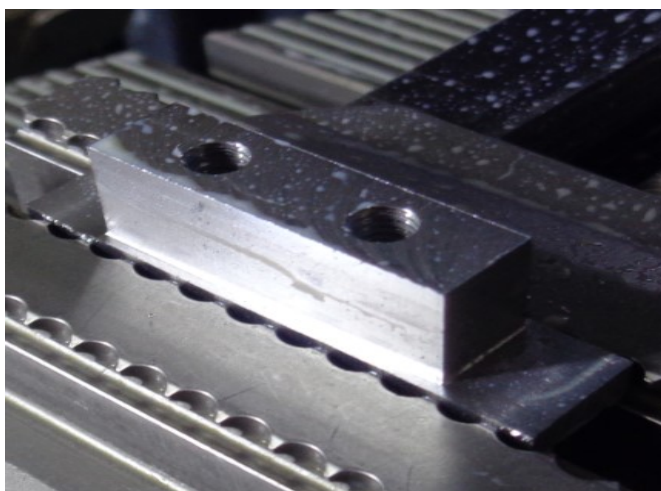
Řezné podmínky: hrubování - $v_c = 200$ m/min, $f_z = 0,12$ mm

dokončování - $v_c = 200$ m/min, $f_z = 0,08$ mm

4. Vrtání děr pro závity viz obrázek 4.5

Nástroj: šroubovítý vrták ϕ 4,3 mm

Řezné podmínky: $v_c = 120$ m/min, $f_n = 0,05$ mm



Obrázek 4.5 - Vyvrtané díry pro závity

5. Řezání závitů

Nástroj: strojní závitník M5

Řezné podmínky: $n = 5 \text{ min}^{-1}$

6. Otočení a upnutí obrobku

svěrák KASTR CU-T 77, ustavovací hranol

7. Zarovnání zadní stěny klínu

Nástroj: Čelní válcová fréza $\phi 25 \text{ mm}$

Řezné podmínky: $v_c = 200 \text{ m/min}$, $f_z = 0,12 \text{ mm}$

8. Otočení a upnutí obrobku

svěrák KASTR CU-T 77, ustavovací hranol

9. Frézování klínové plochy

Nástroj: Čelní válcová fréza $\phi 25 \text{ mm}$

Řezné podmínky: $v_c = 200 \text{ m/min}$, $f_z = 0,08 \text{ mm}$,

4.2.5 Vyzkoušení upínacího systému s odtlačováním velkého klínu

Při prvním pokusu po vložení soustružnického nože do upínací drážky v revolverové hlavě soustruhu EMCO T120, byla nad jeho upínací část umístěna sestava nově vyrobených upínacích klínů. Do závitů ve velkém klínu byly pro zkušební účely zašroubovány dostupné šrouby M5 s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem. Dle prvotního návrhu by postupným dotahováním těchto šroubů mělo docházet k vysouvání horního klínu. Vysouváním tohoto klínu by mělo docházet k rozepření sestavy klínů mezi upínací částí soustružnického nože a horní stěnou drážky. Tímto způsobem by měla být vytvářena upínací síla. Při dotahování šroubů se zprvu horní klín nepatrně vysunul a klíny se vzepřely. Tímto vzepřením vznikla pouze malá upínací síla. Jakmile byly šrouby dále zašroubovávány začalo docházet k vysouvání celé sestavy klínů i se soustružnickým nožem z upínací drážky. Vzniklá upínací síla v momentě, kdy ještě nedocházelo ke kompletnímu vysouvání byla nedostatečná a takto upnutý soustružnický nůž bylo možno uvolnit pouhou rukou za použití malé síly.

Při druhém pokusu o upnutí došlo k jistému zlepšení v případě, že při dotahování šroubů byl současně ručně přidržován malý klín včetně soustružnického nože. Tímto způsobem bylo možné vyvinout o něco větší upínací sílu. Při pokusu o vyvinutí větší upínací síly dalším dotahováním šroubů bylo nutné působit na soustružnický nůž a malý klín už velmi vysokou přidržovací silou. Nutnost přidržovat klín s nožem takto velkou silou je jednak velmi nepraktická a od určitého okamžiku není ani možné takto vysokou přidržovací sílu vyvinout pouhou rukou.

Před posledním pokusem upnutí tímto systémem bylo pomocí technického lihu provedeno odmaštění spodní stěny upínací drážky. Dále byla také odmaštěna upínací část soustružnického nože společně s dosedací základnou malého klínu. Naopak klínové plochy obou klínů a dosedací základna velkého klínu byly namazány mazivem. Toto opatření bylo provedeno za účelem snížení velikosti třecích sil působících proti pohybu velkého klínu, a naopak ke zvětšení tření mezi upínací částí nože, spodní stěnou upínací drážky a dosedací základnou malého klínu. I přes takto upravené plochy nebylo při upínání možné udržet soustružnický nůž společně se sestavou klínů v upínací drážce.

Možná řešení a úpravy tohoto systému

Možným řešením tohoto problému je zmenšení úhlu sklonu klínové plochy. Zmenšení tohoto úhlu zaručí snížení axiální složky reakční síly a také snížení montážní síly nutné k nasunutí velkého klínu na malý. Nevýhodou zmenšení velikosti úhlu sklonu klínové plochy je ovšem snížení účinnosti upínacího systému. Sníženou účinností se rozumí fakt, že pro potřebné rozeprání klínů nad upínací částí soustružnického nože je nutné více zašroubovávat šrouby a velký klín tím více vysouvat.

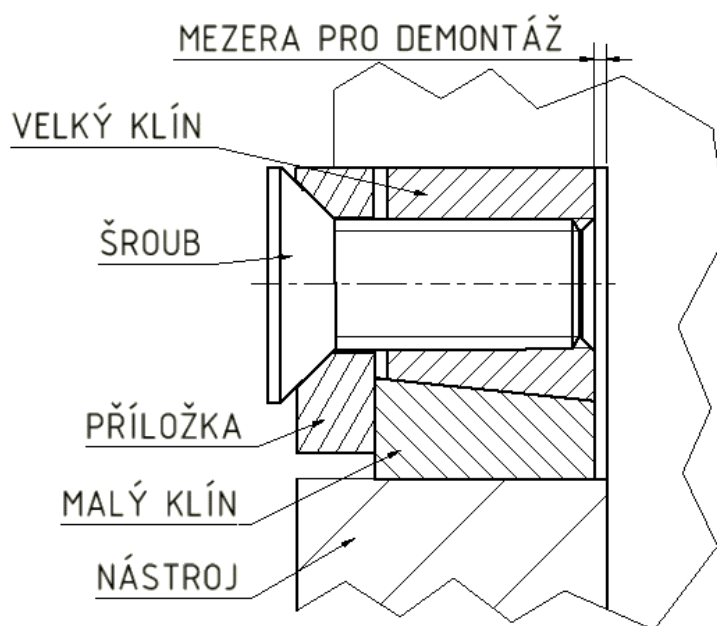
Axiální složky od třecích sil a tím montážní síla se dají zmenšit také obrobením klínových ploch obou klínů a dosedací základny horního klínu s výslednou drsností povrchů Ra 0,8. Tyto plochy by tedy musely být navíc broušeny. S broušením by výroba klínů byla náročnější a také dražší. Navíc v tomto případě také není zaručeno, že by kvalitnější povrchy snížily axiální síly natolik, že by bylo možné tyto síly eliminovat pouhým přidržením nože a malého klínu rukou. Tyto úpravy byly zavrhnuty a odtlačování velkého klínu bylo označeno za nefunkční a v daných podmínkách nepoužitelné.

4.3 Vtlačování malého klínu pod velký

Na základě nefunkčnosti předchozího upínacího bylo přistoupeno ke druhé variantě rozpírání dvojice klínů.

Pro tuto variantu je nutné zachovat stejný smysl sklonu klínových ploch obou klínů, jako tomu bylo u předchozí varianty, založené na odtlačování velkého klínu.

Jako vhodný způsob pro vtlačování malého klínu pod velký bylo zvoleno vtlačování pomocí příložky. Přítlakem této příložky na boční stěnu malého klínu by byl tento klín zatlačován pod velký. Pro samotné přitlačování a uchycení příložky byla zvolena dvojice běžných spojovacích šroubů. Tyto šrouby by byly zašroubovány do děr se závity zhotovenými ve velkém klínu. Jejich dotahováním by byla příložka přitahována k velkému klínu a zároveň by zatlačovala malý klín. Jelikož tato varianta vyžaduje navíc použití příložky a spojovacích šroubů, může dojít k přesahu hlav šroubů a příložky přes profil soustružnického nože. Velkým přesahem by došlo k omezení výrobních možností stroje. Z tohoto důvodu musí být navrženy šrouby s co nejnižší hlavou a tloušťka příložky musí být co nejmenší. Pro správnou funkci tohoto systému musí být navíc šířka malého klínu větší než šířka klínu velkého. Rozdíl šířek je nutný z důvodu umožnění dostatečného zasunutí malého klínu a použití jednoduché příložky bez osazení. Umožnění dostatečného zasunutí malého klínu je velmi důležité z důvodu dosažení nejvyšší možné upínací síly. Tato varianta je načrtnuta a popsána na obrázku 4.6.



Obrázek 4.6 - Náčrt a popis druhé varianty upínacího systému s příložkou ve stavu před upnutím

Pro zaručení jednoduché demontáže musí být mezi zadními stěnami klínů a dnem upínací drážky ponechána mezera o velikosti 1 mm. Pro demontáž tohoto upínacího systému je nutné povolit oba šrouby a nepatrně je vyšroubovat, aby nepřečnívaly přes zadní stěnu velkého klínu. Do hlav těchto šroubů je následně nutné klepnout. Tímto způsobem dojde k odskočení velkého klínu do upínací drážky a vyrušení upínací síly vyvolané rozepřením. Následně je možné vyjmout nástroj i s upínacím systémem.

Na základě těchto zvolených a popsanych skutečností byl proveden celkový návrh upínacího systému. Aby byl zaručen co nejmenší přesah upínacího systému přes profil soustružnického nože, byly pro přitlačování příložky navrženy šrouby M5 se zápusťnou hlavou s drážkou pro plochý šroubovák. Velikost tloušťky příložky byla stanovena na 3 mm. Díry pro šrouby v této příložce musí být zahloubeny s ohledem na tloušťku příložky. Celková výška sestavy nevysunutých klínů byla pro tento způsob stanovena na 12 mm. Tato volba byla provedena z důvodu, že tento systém dovoluje využití nepárně větší výšky, než je možná maximální výška prostoru mezi nožem a horní stěnou upínací drážky. Tímto zpřesněním rozměru byly také sníženy nároky na přesnost výroby. Velikost výšky velkého klínu pro tento způsob byla zvolena na 9 mm. Pro zajištění co nejmenšího přečnívání upínacího systému přes profil soustružnického nože a umožnění pohodlné demontáže byla velikost šířky velkého klínu stanovena na 8 mm. Rozteče a umístění děr v tomto klínu byly ponechány stejné jako u předcházejícího způsobu. Pro malý klín byla výška nejnižší boční stěny ponechána stejná jako u předcházejícího způsobu, tedy 3 mm. Šířka malého klínu byla navržena na 8,5 mm. Rozdíl šířek klínů je tedy 0,5 mm. Délky obou klínů byly ponechány stejné jako u předchozího způsobu, tedy malý klín o délce 35 mm a velký klín je dlouhý 32 mm. Pro tento systém byl navržen šrouby se zápusťnou hlavou M5x 12.

Na základě tohoto návrhu byla k oběma klínům vytvořena výkresová dokumentace viz přílohy C, D.

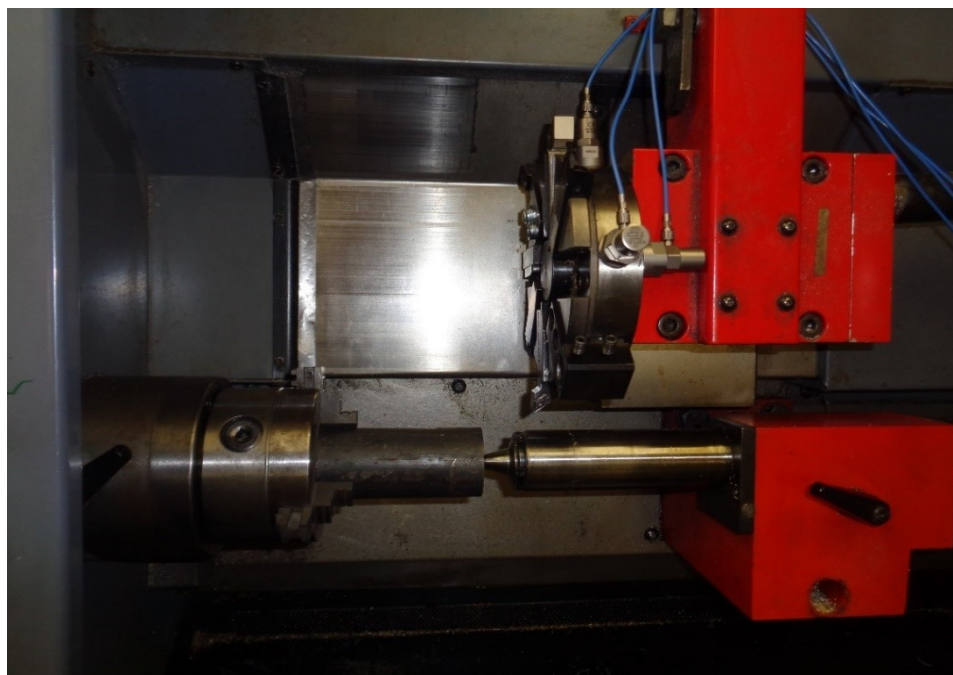
Z důvodu vytíženosti školních dílen, byly pro nutné ověření funkčnosti upraveny již dříve vyrobené upínací klíny pro předchozí variantu upínacího systému. Tuto pouhou úpravu umožňovala skutečnost, že upínací klíny pro předchozí variantu měly skoro stejné rozměry. Úprava stávajících klínů spočívala ve změně šířek obou klínů. Pro ověření použitelnosti navrženého upínacího systému byla příložka nahrazena dvojicí plochých podložek o průměru 6,4 mm vložených pod hlavou každého šroubu. Zkušebním upnutím bylo zjištěno, že pomocí tohoto upínacího systému lze vyvodit poměrně velkou upínací sílu.

5 Ověření funkčnosti zvoleného upínacího systému

Z důvodu toho, že, že návrh upínacího systému nebyl proveden na základě výpočtu, byla provedena experimentální zkouška tohoto systému při obrábění. Tento experiment byl proveden na soustruhu EMCO T120. Vzhledem k tomu, že se tento soustruh využívá primárně k obrábění silonových polotovarů, byl pro ověření funkčnosti navrženého upínacího systému zvolen ocelový zkušební polotovar. Tato volba totiž zajišťuje ověření potřebné bezpečnostní rezervy upínacího systému, jelikož ocel klade podstatně vyšší řezný odpor než silon, pro který je tento soustruh primárně určen. Jako zkušební obráběný polotovar byla zvolena ocelová tyč kruhová o průměru 40 mm. Průměr zkušební tyče byl zvolen na základě maximálního průměru, který lze do sklíčidla soustruhu EMCO T120 upnout. Pro zajištění náročných podmínek při obrábění bylo zvoleno podélné hrubování na délce 20 mm o hloubce třísky $a_p = 1,5$ mm s řeznou rychlostí $v_c = 100$ m/min a posuvem $f_n = 0,1$ mm. Tyto řezné podmínky byly zvoleny na základě charakteru používání soustruhu EMCO T120. Na tohle hrubování byl zvolen levý přímý soustružnický nůž s vyměnitelnou břitovou destičkou DCMT 2 – 1 – SM. Z důvodu bezpečnosti bylo určeno, že obrábění nebude provedeno ihned s plnou hloubkou třísky 1,5 mm. Byly tedy určeny tři pokusy s hloubkami třísek 0,5 mm, 1 mm a 1,5 mm. Z toho vyplývá, že pokud upínací systém udrží soustružnický nůž při menší hloubce třísky, bude následující pokus proveden se zvýšenou hloubkou třísky

Jestliže nově navržený upínací systém dokáže udržet nástroj v upínací drážce bez sebemenšího vychýlení při všech určených hloubkách třísek, lze tento nový upínací systém pro obrábění silonových obrobků na soustruhu EMCO T120 označit za spolehlivý a bezpečný.

Před samotným experimentem bylo nutné vybrat ze skladu materiálu odpovídající tyč. Z vybrané tyče byl na pásové pile uřezán zkušební polotovar o délce 90 mm. Po uřezání bylo nutné do čela zkušební polotovaru navrtat středící důlek na univerzálním hrotovém soustruhu. Takto upravený polotovar byl upnut do sklíčidla soustruhu Emco Turn 120 a podepřen hrotem viz obrázek 5.1.



Obrázek 5.1 - Upnutá zkušební tyč

V dalším kroku byl v programu Mikroprog S napsán NC program pro obrábění zadaným způsobem. Pro zajištění stejné velikosti řezné rychlosti při všech hloubkách třísky byla v tomto programu nastavena plynulá regulace otáček na základě zvolené řezné rychlosti. Následně byl do revolverové hlavy upnut soustružnický nůž pomocí nového upínacího systému. Po tomto upnutí bylo provedeno seřízení upnutého soustružnického nože. Po tomto seřízení byl spuštěn stroj a vybrán NC program. Program byl spouštěn po blocích z důvodu umožnění kontroly nástroje a případného rychlého zastavení stroje. Při prvním obrobení s hloubkou třísky $a_p = 0,5$ mm nástroj bezproblémově obrobil plochu bez jakéhokoliv nežádoucího pohybu. Totéž se opakovalo i u následujících obrábění se zvýšenou hloubkou třísek. Navržený upínací systém tedy splnil veškeré stanovené nároky a výsledek experimentu byl označen za kladný. Teno systém je tedy možné pro obrábění silonových polotovarů bez problémů využít.

Závěr

Na začátku této práce byla provedena rešerše upínání nástrojů při soustružení. V této rešerši byly vypsány základní požadavky na upnutí a možné způsoby jakými je možné nástroje upínat, byly zde také popsány jednotlivé způsoby upínání na základě konstrukce obráběcího stroje.

Ve druhé části práce byl popsán soustruh EMCO T120, pro který byl nový způsob upínání navrhován, dále zde bylo detailně popsáno stávající upínání nástrojů do revolverové hlavy tohoto soustruhu a jeho problémy. Před volbou vhodného způsobu pro upínání do revolverové hlavy tohoto soustruhu byly zjištěny výchozí podmínky hlavní požadavky, které musí volený způsob upínání splňovat. Na základě těchto podmínek a požadavků byly zvoleny dvě možná řešení.

Prvním řešením byla úprava stávajícího upínacího systému. Druhé řešení bylo využití způsobu upínání pomocí dvojice upínacích klínů. Z těchto způsobů bylo vybráno upínání dvojicí klínů, které mělo dvě varianty. Z těchto variant byla vybrána varianta první, tedy odtlačování velkého klínu ode dna upínací drážky. Na základě této varianty byl navržen a zhotoven upínací systém. Při praktickém pokusu o upnutí zhotoveným upínacím systémem vyšlo najevo, že tento upínací systém je nefunkční.

Na základě zjištěné nefunkčnosti bylo přistoupeno k druhé variantě, tedy vtlačování malého klínu pod velký. Na základě této varianty byl navržen a zhotoven upínací systém. Ze zkušebního upnutí takto zhotoveným upínacím systémem bylo zjištěno, že tento systém je v daných podmínkách funkční a dokáže jím být spolehlivě vyvinuta upínací síla.

Pro zjištění, zda navržený upínací systém vyvine dostatečnou upínací sílu byl proveden experiment. Při tomto experimentu se nástrojem upnutým pomocí navrženého upínacího systému hruboval ocelový zkušební polotovar. Jelikož takto upnutý nástroj byl schopen bez sebemenšího nežádoucího vychýlení odebrat třísku se stanovenou hloubkou, byla upínací síla vyvinutá navrženým upínacím systémem označena za dostatečnou pro charakter využívání soustruhu EMCO 120. Na základě této skutečnosti bylo možné prohlásit navržený upínací systém za zcela funkční a použitelný. Pro zajištění vysoké životnosti upínacích klínů by bylo navíc vhodné tyto klíny zakalit a klínové plochy brousit. Cíl této práce navrhnout fungující a bezpečný upínací systém byl tedy splněn.

Seznam použité literatury

- 1 SOVA, František. Technologie obrábění a montáže. 3. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2001. ISBN 80-708-2823-4.
- 2 ADAMEC, Jaromír a Šárka TICHÁ. *Programování CNC systému EMCOTRONIC TM02 - Soustružení* [online]. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008 [cit. 2018-02-02]. ISBN 978-80-248-1915-0. Dostupné z: <http://books.fs.vsb.cz/pncs/programovani-cnc-systemu.pdf>
- 3 SADÍLEK, Marek a Jaroslav DUBSKÝ. *Obrábění I: výběr přednášek*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2015. ISBN 978-80-248-3857-1.
- 4 KENNAMETAL. *Kennametal Tooling Systems 2013 Master Catalog* [online]. Latrobe: Kennametal, 2013 [cit. 2018-04-01]. Dostupné z: https://www.kennametal.com/content/dam/kennametal/kennametal/common/Resources/Catalogs-Literature/Metalworking/metalworking2/Tooling%20Systems%202013%20Catalog%20Sections/A-12-02809_KMT_ToolingSystems2013_sectionA_KM.pdf
- 5 SANDVIK COROMANT. *Quick Change for CNC Lathes* [online]. Sandviken: Sandvik Coromant, 2012 [cit. 2017-12-27]. Dostupné z: https://www.sandvik.coromant.com/SiteCollectionDocuments/pdf/knowledge/toolholding/2929_081_ENG.pdf
- 6 Neušlechtilé oceli třídy 11, složení a tepelné zpracování. *Technologie strojího obrábění kovů a broušení nástrojů* [online]. c2010, Únor 6th, 2011 [cit. 2018-04-29]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/neuslechtile-uhlikovekonstrukcni-oceli-tridy-11-jejich-slozeni-a-tepelne-zpracovani/>
- 7 LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 5., upr. vyd. Úvaly: Albra, 2011. ISBN 978-80-7361-081-4.

- 8 KAMENICKÁ, Pavlína. *Způsoby upínání nástrojů a obrobků* [online]. Brno, 2013 [cit. 2017-12-02]. Dostupné z: https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/27465/2013_BP_Kamenicka_Pavlina.pdf?sequence=1. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce: Kalivoda, Milan.
- 9 BORO VAN, Petr. Upínače nástrojů (3). *Technický týdeník* [online]. Praha: Business Media CZ, 2012, 21. únor 2012 [cit. 2018-05-13]. ISSN 0040-1064. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/serialy/upinace-nastroju/upinace-nastroju-3_8499.html
- 10 KALÁB, Květoslav. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2007. ISBN 978-80-248-1290-8.
- 11 AMPAPA, Libor. *Upínání obrobků u třískového obrábění* [online]. Brno, 2016 [cit. 2017-12-02]. Dostupné z: https://theses.cz/id/2zv9xs/zaverecna_prace.pdf. Bakalářská práce. Mendelova univerzita v Brně Agronomická fakulta Ústav techniky a automobilové dopravy. Vedoucí práce: Votava, Jiří.
- 12 GRIFFITHS, Tony. F.Lorch, Lorch Schmidt, L.S. & Co. Lathes Page 2. *Lathes + Machine Tool Archiv* [online]. Wardlow, 2018 [cit. 2018-03-20]. Dostupné z: <http://www.lathes.co.uk/lorchschmidt/page2.html>
- 13 GOODWAY. GOODWAY Web Site - CNC Machine Tools - The Ultimate Machining Power [online]. Taiwan [cit. 2018-02-20]. Dostupné z: http://www.goodwaycnc.com/exhtml_goodway/goodway_en/turning/horizontal/gs_4000/turret.htm
- 14 SŠ - COPT KROMĚŘÍŽ. Upínání nástrojů [online]. Kroměříž [cit. 2018-03-17]. Dostupné z: <https://coptkm.cz/portal/reposit.php?action=0&id=39446&revision=-1&instance=2>
- 15 DREXLER, Tomáš. *Návrh frézovacího zařízení pro soustruhy SR upínaného do revolverové hlavy se svislou osou otáčení* [online]. Plzeň, 2013 [cit. 2018-03-02]. Dostupné z: https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/11025/8721/1/Diplomova_prace_Drexler_2013.pdf. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní, Katedra konstruování strojů. Vedoucí práce: Lašová, Václava.

- 16 TYC, Ondřej. *Automatické výměna nástrojů na obráběcích strojích* [online]. Plzeň, 2007 [cit. 2018-02-27]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/30845711-Automaticka-vymena-nastroju-na-obrabecich-strojich-ondrej-tyc.html>. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní, Katedra konstruování strojů. Vedoucí práce: Krátký, Jaroslav.
- 17 ČEP, Robert, Jana NOVÁKOVÁ a Lenka PETŘKOVSKÁ. *Technologie II - 2. díl* [online]. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2007 [cit. 2018-16-02]. Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~cep77/PDF/skripta_Technologie_II_2dil.pdf

Seznam příloh

Příloha A	Výrobní výkres: Malý klín pro I. variantu
Příloha B	Výrobní výkres: Velký klín pro I. variantu
Příloha C	Výrobní výkres: Malý klín pro II. variantu
Příloha D	Výrobní výkres: Velký klín pro II. variantu